

能登有料道路の基礎構造物の ASR 劣化とその対策

鳥居和之*1・宮村雅之*2・湊 俊彦*3・西川元気*4

概要 2007年3月の能登半島地震後、能登有料道路の橋梁の震災復旧工事において、地中部にある基礎構造物（フーチング）に ASR による鉄筋破断を伴う損傷が相次いで発見された。このため、ASR により劣化したフーチングの診断および補強に対する新たな対応が必要になっている。本報告では、地中部にあるフーチングでの ASR による劣化の特徴とその診断および補強における事例を紹介するものである。

キーワード：ASR, 鉄筋破断, フーチング, 診断, 補強

1. はじめに

2007年3月に発生した能登半島地震では、震度6強の地震に見舞われ、能登半島北部の地域（門前、穴水）で家屋の倒壊や斜面の崩壊が発生した。また、能登半島を縦貫する、主要な道路である能登有料道路では、写真-1に示すように、多くの箇所では斜面や盛土が崩壊し、完全な復旧には約8カ月を要した。一方、道路土工の被災と比較すると、橋梁、トンネルなどのコンクリート構造物の被災は、写真-2に示すように、路面の段差やジョ



写真-1 能登有料道路の被災状況



写真-2 ジョイント部の段差

イント、沓座の破損など、比較的軽微なものであり、早期に供用することが可能であった。このことには、約10年間にわたり、アルカリシリカ反応（ASR）や凍結防止剤により劣化した道路構造物の維持管理への地道な取り組みが効果をあげたと考えられる¹⁾。現在、能登有料道路では橋梁10橋の耐震補強工事が実施されている。ASR劣化橋脚の耐震補強工事では、まず構造物の耐荷力の低下を回復（現況復帰）し、さらに現行の道路橋示方書の耐震基準を満たすことを復旧工事における基本的な原則としている。これらの ASR 劣化橋脚・柱部の耐震補強では、基礎構造物の形式や ASR 劣化度に応じて、RC 巻立て工法や鋼板巻立て工法、PC 鋼材巻立て工法などを適宜採用している。一方、橋脚周囲を掘削した際に、基礎構造物（フーチング）の鉄筋破断と躯体の大きな割れが相次いで発見され、新たな対応が求められている。

本報告は、能登有料道路の橋脚・フーチングにおける ASR による劣化の特徴とフーチングの診断および補強における事例を紹介するものである。

2. ASR 劣化橋脚の鉄筋破断と調査・診断の留意点

2.1 ASR 劣化橋脚の鉄筋破断の特徴

ASR 劣化橋脚の鉄筋破断の模式図を図-1に示す。ASR により過大な膨張が構造物に発生した場合には、コンクリートの強度低下、鉄筋とかぶりとの付着力の低下、鉄筋の曲げ加工部での破断や圧接部でははずれなどの重大な損傷が発生することが知られている^{2),3)}。特に、鉄筋破断を伴う損傷に関しては、安山岩砕石のような反応性の高い骨材が使用され、コンクリートの配合と構造物の使用・環境条件との組合せにより、ASR による膨張が長期にわたり継続した場合にのみ発生するものである。鉄筋破断の事例報告としては、RC 橋脚や PC 橋脚・梁部での、せん断補強鉄筋（スターラップ筋および折り曲げ鉄筋）が曲げ加工部で破断している事例がほとんどであり、地域的には北陸地方、関西地方で多く発生して

*1 とりい・かずゆき／金沢大学工学部土木建設工学科 教授（正会員）

*2 みやむら・まさゆき／石川県道路公社

*3 みなと・としひこ／東京コンサルタンツ(株)

*4 にしかわ・げんき／鹿島建設(株)

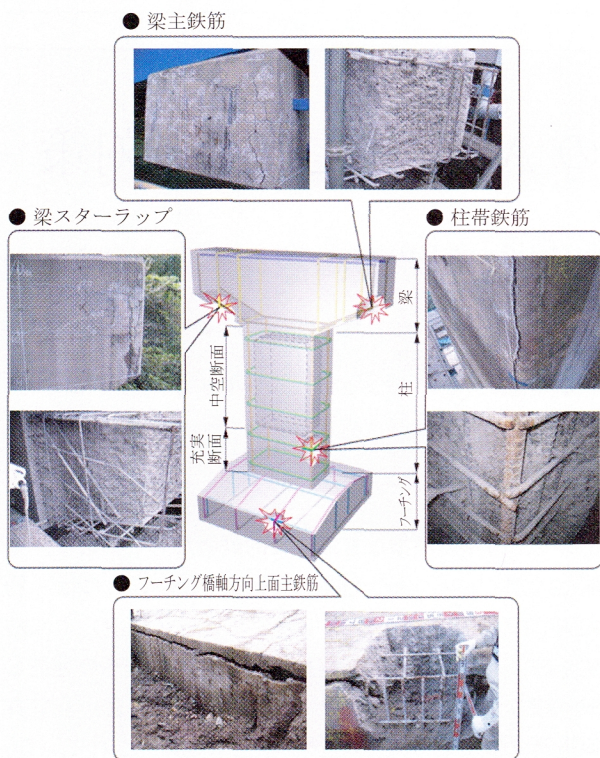


図-1 ASR劣化橋脚の鉄筋破断の模式図

いる。しかし、最近の調査では、橋脚の柱部や、地中または水中にある基礎部（フーチング）での鉄筋破断の事例も見つかっている。前者（柱部）では、中空断面のRC橋脚にて土中部のコンクリートの中込めした箇所、帯鉄筋が4隅の曲げ加工部で破断している事例が新たに発見されている。これは、コンクリート断面の増加により鉄筋比が相対的に小さくなったために、帯鉄筋の曲げ加工部に大きなASR膨張力が作用したことによるものである。後者（フーチング）の事例は、これまで能登半島での3事例（反応性骨材：安山岩碎石）以外には、沖縄での1事例（反応性骨材：外国産の川砂利（チャート、泥岩、安山岩を含有）と石灰岩碎石の混合物）、新潟での1事例（反応性骨材：信濃川水系の川砂利（安山岩を含有））があったのみである。また、富山県での3事例（常願寺川水系の川砂利（安山岩、流紋岩を含有））では、河川内にあるケーソンのASRによる劣化も発見されて

いる。

2.2 ASR劣化橋脚の調査・診断の留意点

ASR劣化橋脚の鉄筋破断に関して、国土交通省・道路橋維持管理要領（2003年）では、橋脚・梁部の2mm以上の連続的なひび割れの発生箇所をはつり点検し、鉄筋の損傷状況を確認するものとしている。能登有料道路で実施した調査では、コンクリートのかぶりと配筋状況との関係から、0.5mm以下のひび割れでも鉄筋破断が発生している場合があり、外観観察のみで鉄筋破断の有無を推定することは難しいと考えている。また、鉄筋破断が発生している橋脚の梁部やフーチングは、安全性や作業性の点で、はつり点検により鉄筋の損傷状況を直接に観察することが困難な箇所でもある。

橋脚の地上付近にASRによる顕著なひび割れが見られる時には、以下の点に留意してフーチングの調査・診断をさらに実施することが必要である。

(1) 通常、地中部は温度変化による影響は小さいが、水の影響を常時受けるので、まず構造物の周囲からの水の浸透状況（地下水位）を把握する必要がある。特に、水中に位置する、フーチング、ケーソンなどでは、コンクリートのひび割れに水が浸透することにより、コンクリートの組織自体が破壊（脆弱化）することがあるので、浸透水の影響には十分に注意する。

(2) 橋脚の地上付近に、大きなひび割れがある時には、少なくとも1面を掘り下げて、ひび割れの地中部へ



写真-3 フーチングの亀甲状のひび割れ

Deterioration of ASR-affected Foundation Structures on Noto Expressway and Its Countermeasures

By K. Torii, M. Miyamura, T. Minato and G. Nishikawa

Concrete Journal, Vol.46, No.4, pp.27~33, Apr. 2008

Synopsis After the Noto peninsula earthquake in March 2007, the strengthening work for bridges is now actively carrying out on the Noto expressway. By the survey on the footing of bridge piers under the ground, a serious deterioration associated with the fracture of steel bars due to the alkali-silica reaction (ASR) was detected in several numbers of bridges. So, both the mechanical property of concrete and the degree of fracture of steel bars were examined for the purpose of strengthening design work for them. Case studies on the diagnosis and strengthening method for ASR-affected footings are introduced.

Keywords : ASR, fracture of steel bars, footing, diagnosis, strengthening



写真-4 鉛直コアの採取状況

の進展状況を確認する。その際に、フーチングの上面に亀甲状のひび割れ(写真-3)が存在する時には、側面をさらに50cm程度掘り下げて、水平方向の割れ(鉄筋破断の有無)を調べる。

(3) フーチングに鉄筋破断が発生している場合には、側面端部からの割れの状況および躯体の劣化度(躯体下部のコンクリートの強度および鉄筋の定着・付着状況)を確認するために、柱基部近傍および側端部にて鉛直コアを採取するか、躯体の弾性波速度測定より躯体内部の劣化状況を調べる(写真-4)。

3. 鉄筋破断が発生したフーチングの調査事例

3.1 コンクリートの配合および反応性骨材の特徴

能登有料道路の建設時のコンクリートの代表的な配合(コンクリートの設計基準強度: 21 または 24 N/mm²)を表-1に示す。能登有料道路の構造物は昭和40年代後半から50年代前半に建設されたものであり、建設後25年から30年が経過している。構造物から採取したコアの岩種を判定した結果、コンクリートには、粗骨材として、反応性の安山岩砕石(ガラス質を比較的多く含む両輝石安山岩、反応性鉱物: クリストバライト、火山ガラス)、細骨材として、非反応性の川砂または山砂が使用されていた。したがって、調査対象構造物に使用された、反応性骨材の岩種はほぼ同一であり、いずれも能登半島北部から産出された反応性の高い安山岩砕石であった⁴⁾。一方、セメントはすべて普通ポルトランドセメントが使用されており、住友セメントの七尾工場(一部は宇部セメント)のものが流通していた。当時のセメントのアルカリ量を未水和セメント粒子のEPMAより推定すると、等価アルカリ量が約0.8%であった⁵⁾。また、橋脚および橋台に使用された、一般的なコンクリートの単位セメント量は270~320 kg/m³であり、セメントからのアル

カリ量を計算すると2.2~2.6 kg/m³となった。この値は、ASR抑制対策としてのコンクリート中のアルカリ総量規制値3.0 kg/m³以下を十分に満足している。当然であるが、地中部にあるフーチングでは外部からのアルカリ分(NaCl)の影響は無視できる。本来、アルカリの総量規制値は、RILEM TC-191 ARPに示されるように、反応性骨材の種類と構造物の使用・環境条件との組合せを考慮して決められるべきものである。実際、諸外国では、反応性が高い火山岩系の骨材に対してはより厳しい基準値が設定されている。筆者らが実施した骨材のアルカリ溶出試験の結果より、能登産の安山岩砕石では、長石や火山ガラス、粘土鉱物などから長期にわたり多量のアルカリが溶出することが確認されている⁶⁾。さらに、フーチングのような地中部の構造物では、フーチングから柱部(気中部)への水の移動に伴うアルカリ濃度の変化(濃縮現象)が生じることも予想される。したがって、これらの要因がコンクリート中のアルカリ量が総量規制値以下でも実構造物にてASRが発生した原因であると考えている。

3.2 フーチングの構造形式と配筋

橋脚・フーチングのASR膨張による鉄筋破断の模式図を図-2に示す。能登有料道路の橋脚および橋台の基礎はほとんどが直接基礎(岩着)であった。また、フーチングの上面(橋軸方向)はテーパが設けられており、岩着部の躯体側面にコンクリート(捨てコン)が打設されていた。フーチングにおけるASR劣化にはこのような構造形式と配筋とが大きく関係していたと考える。すなわち、フーチングの躯体内部におけるASRによる膨張圧は、躯体下部が主鉄筋と捨てコンとで拘束されているために、躯体上部の側面に膨張圧が集中的(末広がり形の膨張)に作用し、その結果、橋軸方向上面の鉄筋が曲げ加工部にて集中的に破断したものと推定された。今

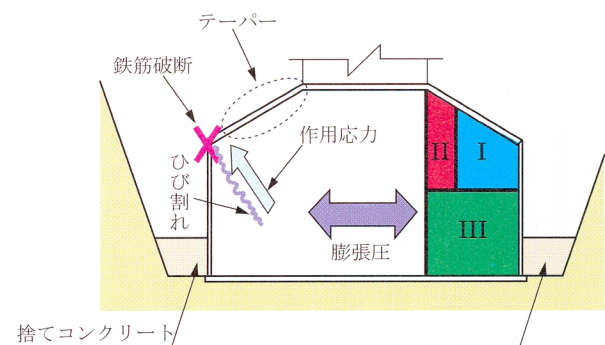


図-2 フーチングのASR膨張の模式図

表-1 フーチングに使用したコンクリートの配合

設計基準強度 f_c' (N/mm ²)	骨材寸法 (mm)	細骨材の種類	粗骨材の種類	セメントの種類	W/C (%)	単位セメント量 (kg/m ³)	セメントからの アルカリ量 (kg/m ³)
21 または 24	25 または 40	川砂または山砂 (非反応性)	両輝石安山岩砕石 (反応性*)	普通ポルトランド セメント**	49~56	270~320	2.16~2.56

*両輝石安山岩の反応性鉱物: クリストバライト, 火山ガラス

**セメントのアルカリ量: 0.8%程度(住友セメントまたは宇部セメント)

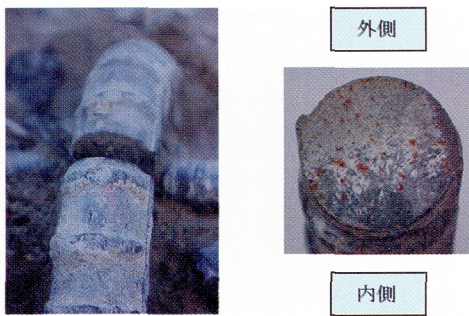


写真-5 フーチングの鉄筋破断
(鉄筋径：D 25 mm, SD 295 A)



写真-6 腐食を伴う橋台の鉄筋破断
(鉄筋径：D 16 mm, SD 295 A)

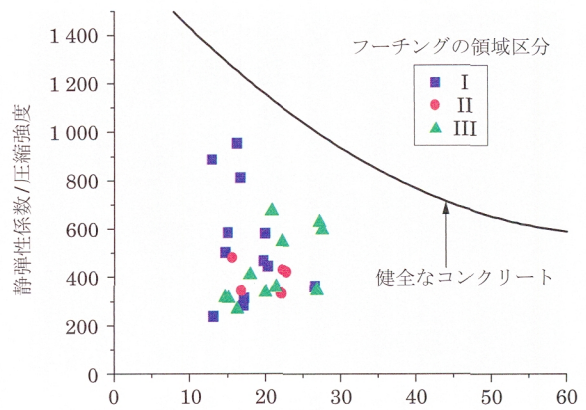


図-3 コアの圧縮強度と静弾性係数の関係

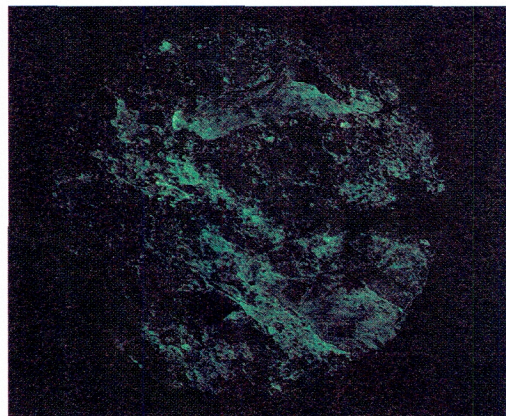


写真-7 酢酸ウラニル蛍光法によるコアの破断面の観察

今回の調査では、ASR劣化が顕著なフーチングでは、橋軸方向上面の鉄筋破断率は95%から100%になった。また、鉄筋の定着長さが不十分な箇所では、鉄筋が破断せず、抜け出しており、定着部のすぐ下から大きな割れが発生していた。これらの鉄筋は、これまで報告^{6),7)}されているように、破断面が平滑かつ脆性的であり、はつり調査時には鉄筋の破断面に錆などの腐食の痕跡は観察されないものが多くあった(写真-5)。その一方で、ひび割れから塩分や水分が供給される橋脚・梁部や橋台では、激しい鉄筋腐食やそれに伴う曲げ加工部以外での鉄筋破断も観察された(写真-6)。このように、能登有料道路の橋脚・フーチングでは、基礎の形式が直接基礎であり、躯体下部に捨てコンが打設され、ASR膨張が平面的に拘束されていたことがたまたま幸いしたと考えている。しかし、基礎が杭やケーソンである場合には、押し抜きせん断耐力や曲げ耐力の確保においてより深刻な事態が想定された。

3.3 コアの強度性状とASR劣化度

フーチングから採取したコアの圧縮強度と静弾性係数/圧縮強度比の関係を図-3に示す。プロットが原点に近づくにつれて、ASRによる劣化度が大きいものと判断できる。フーチングの調査は、鉛直方向のコアをフーチングの端部から柱部にかけて2,3本採取するのを基本としている⁸⁾。この際に、貫通コアは内部の断裂状況および端部からの割れの範囲を特定することを主な目的としている。今回の調査では、コアの採取位置は、I

(躯体上部)、II(柱基部付近)、III(躯体下部)と区別し、それぞれ3本程度のコアを採取している。I(躯体上部)では、テーパ部に締固めが不十分なコンクリートが打設されていることや、鉄筋破断により拘束効果が減少していること、などの理由で、コアの圧縮強度が設計基準強度を大きく下回った。それに対して、II(柱基部付近)およびIII(躯体下部)では、コアの圧縮強度の低下は全体的に小さかった。フーチングより採取したコアを観察すると、写真-7に示すように、コンクリート中の安山岩粒子が全体によく反応しており、コアの断裂箇所にASRゲルが多量に貯留している状況も観察された。これは、地中部のフーチングでは長期にわたりASRが進行し、コンクリートに大きな膨張圧を発生させるとともに、内部に発生したひび割れを通してASRゲルがかなり広い範囲を移動している、との仮説を示唆している。安山岩粒子のASRゲルのSEM-EDS分析の結果を図-4に示す。写真-8に示すように、ASRゲルは二次的な生成物が少なく、平滑な表面が観察される。その平均的な化学組成はアルカリ分($\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$)が7.2%、カルシウム分(CaO)が28.6%、シリカ分(SiO_2)が64.2%であった。ASRゲルの化学組成から見ると、かなり材齢が経過しているが、カルシウム分の少ないASRゲルであり、ASRゲル自身の吸水膨張性がいまだに保持されていると判断できる。

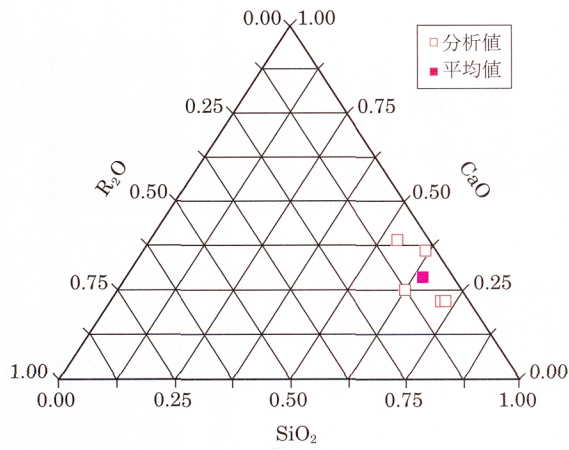


図-4 SEM-EDSにより測定したASRゲルの化学組成

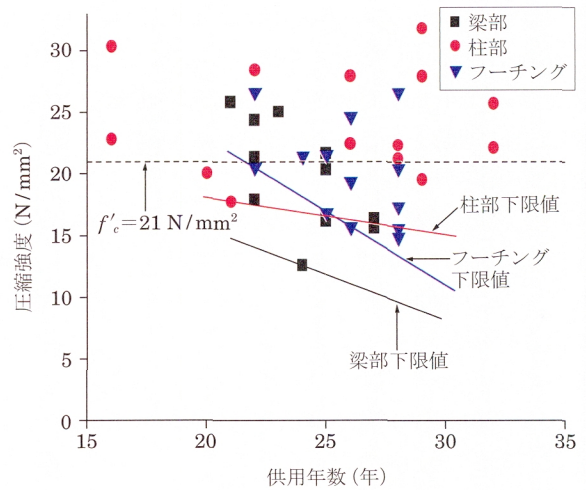


図-5 コアの圧縮強度と供用年数の関係

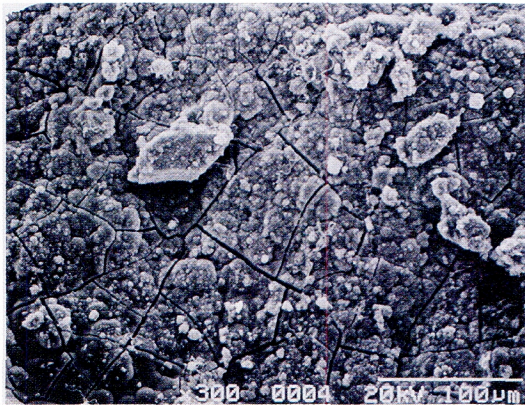


写真-8 SEM-EDSにより測定したASRゲルの形態

橋脚の梁部、柱部およびフーチングから採取したコアの圧縮強度の経年変化を図-5に示す。コアの圧縮強度は供用年数が20年を経過したところから設計基準強度を下回るものが多くなっている。特に、路面排水による影響を直接に受ける橋脚・梁部や地下水の影響を受けるフーチングのコアは、柱部と比較して圧縮強度の低下が顕著であった。能登有料道路のコンクリートでは25年から30年が経過した現時点でもASR膨張が収束しておらず、コンクリートの圧縮強度は今後も低下することが予想される。今後のASR劣化構造物の補修・補強にあたって

は、とくにASRによる劣化が顕著になる橋脚の梁部やフーチング部の補強設計用値として、それらの下限値である10 N/mm²を使用するのが妥当であると考えている。

4. 鉄筋破断が発生したフーチングの補修・補強とモニタリング

4.1 フーチングの補修・補強

フーチングで実施した補修・補強の事例一覧を表-2に示す。橋脚、橋台の補強では、まずフーチングのASR劣化状況を確認して、構造物全体の補強設計に入るのが本来の姿である。しかし、今回の復旧工事のように時間の制約を受ける場合は、そのような工程を経ることが通常困難である。また、フーチングの躯体全体を打ち替えることを選択は構造的かつ施工的にも困難である。このため、フーチングの補修・補強では、復旧工事の工程を最優先して、それぞれの橋脚ごとに現時点でベストであると考えられる工法を復旧工法検討委員会の責任において採用することに決定した。

能登有料道路におけるフーチングの補強設計では以下のことを考慮した。

表-2 フーチングで実施した補修・補強の事例一覧

橋梁名	水の供給状態	コンクリートの劣化状況	鉄筋破断の状況	対策（補修・補強）					モニタリング
				鉄筋溶接（重ね継ぎ手）	断面修復（部分打替え含む）	巻立て・増厚	プレストレス導入	構造変更	
A橋	中	大	大	○	○	○	—	—	○ ^{*3}
B橋	中	中	小	—	—	○	—	—	○ ^{*4}
C橋	中	中	大	○	○	○	○	—	○ ^{*4}
D橋	大	大	大	○	○	○	—	—	○ ^{*3}
E橋	大	中	小	○	○	—	—	—	
F橋	小	小	—	—	—	—	—	—	
G橋	大	大	—	—	○	—	—	—	○ ^{*4}
H橋	大	中	中	—	—	—	—	○ ^{*1}	
I橋	中	大	大	—	—	—	—	○ ^{*2}	

※1：橋脚と橋台間にカルバートボックスを入れ、一体化
 ※3：観測孔（マンホール）の設置

※2：上部工を受ける橋脚を新たに設置
 ※4：亀裂変位計によるひび割れの計測

(1) フーチングの躯体端部から大きな割れが生じている場合には、その範囲を調べて、部分的に打ち替える(上面から0.5m, 側面から1m程度が標準)。また、躯体内部に伸展したひび割れはセメント系材料を注入し、躯体の一体性を確保する。

(2) 鉄筋破断が発生している箇所は、鉄筋に添え筋を施し、フレアー溶接をした後に、ポリマーセメントモルタルにより断面を修復する。また、フーチング全体の耐荷力が不足していると判断される場合には、適宜、鉄筋コンクリートの増し打ちなどを実施する。

(3) 能登有料道路の構造物は、今後もASRによる膨張が継続する可能性があるため、フーチングの表面は防水処理を施すとともに、谷筋からの水を適切に処理して、外部からの水分の供給をできるだけ遮断する。

4.2 フーチングのモニタリング

フーチングのような土中にある構造物の場合には、目視による点検管理が不可能であり、また補強実施後のASR抑制効果が実際に確認できないことを想定しておく必要がある。このため、今回のフーチングの補強の際には、ASR劣化がとくに顕著であるものと維持管理が困難であるものを選択して、埋め戻し時に検査孔(マンホール)およびひび割れに亀裂変位計をそれぞれ設置して、補強効果を確認するためのモニタリングを実施することにした。

5. 橋脚の耐震補強工事

今回の復旧工事では、ASR膨張による鉄筋破断やコンクリートの強度低下が発生した橋脚・梁部は鉄筋破断箇所の溶接(図-6)や劣化箇所の部分的な打ち替え(写真-9)、RC巻立てなどを適宜実施することにより、短期間で補強工事の完了を目指している。一方、拘束鉄筋比が大きい橋脚・柱部は、ASRにより縦方向のひび割れが発生しているが、一部の橋脚(写真-10、PC鋼材巻立て工法を採用)を除くと、ひび割れは全体に軽微であると判断されたので、橋脚・柱部の耐震補強にはRC巻立て工法を採用することに決定した。橋脚・柱部における耐震補強図(RC巻立て工法)を図-7に示す。RC巻立て工法の利点は、施工性や維持管理性、経済性において、他の耐震補強工法(鋼板巻立て工法、繊維材巻立て工法およびPC鋼材巻立て工法)に比べて優れていることである。また、欠点としては、RC巻立て部の自重が基礎構造物に影響を及ぼす場合があること、既設躯体との一体性が確保されにくいこと、などがあげられる。鉄筋コンクリート橋脚については、段落し部における曲げせん断破壊や柱全体のせん断破壊による倒壊、曲げ破壊に伴う大きな残留水平変位が生じる場合があるために、橋脚の構造特性に応じて、段落し部のせん断補強対策、じん性補強対策、残留変位低減対策などを適宜選択することが必要となる。このため、鉄筋コンクリート

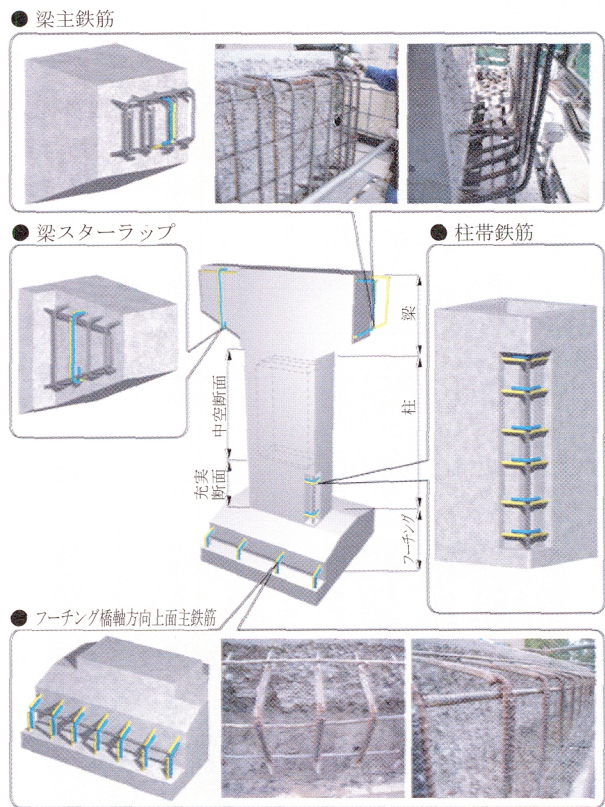


図-6 鉄筋破断箇所の溶接

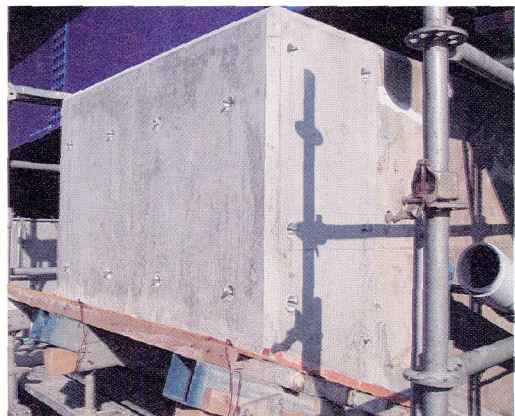


写真-9 橋脚・梁部の部分打ち替え



写真-10 橋脚・柱部の縦方向のひび割れ

橋脚の補強にあたっては、せん断破壊を防止し、じん性の向上によりねばり強い構造とすることが原則となる。

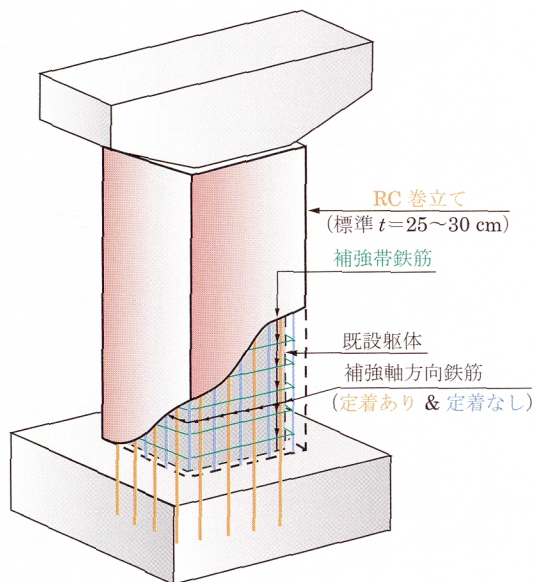


図-7 橋脚・柱部における耐震補強図 (RC 巻立て工法)

また、地震時保有水平耐力の増強を図ることにより、橋脚の耐震性能を高めることが可能であるが、基礎への影響を考慮し、できるだけ橋脚の耐力を増加させないようにすることにも配慮しなければならない。

一方、耐震補強工事が実施される、能登有料道路の山間部に位置する橋梁は、谷を跨ぐ、多径間で長い曲線橋が多い。このため、RC 巻立て工法を施工するにあたっては、能登地域でこれまで経験したことのない、高い橋脚や大断面のものとなるので、乾燥収縮や温度応力によるひび割れの発生を防ぐために、コンクリートの配合および施工において、とくに以下の配慮をすることにした。

(1) ひび割れ対策として普通ポルトランドセメントと膨張材を使用する (高炉セメント B 種は使用しない)。また、温度ひび割れの対策は中庸熱ポルトランドセメントの使用が望ましかったが、今回はセメント量の低減で対処する。

(2) 非反応性の川砂および川砂利を使用することを原則とする (アルカリ総量規制値の遵守による安山岩砕石の使用を行わない)。

(3) コンクリートは呼び強度が 27 N/mm^2 、スランブが 8 cm を標準とするが、工場での高性能 AE 減水剤の添加により打設時のスランブを増大し、施工現場でのコンクリートの施工性と充てん性を確保する。

(4) 型枠の放置期間を 7 日以上とし、養生期間をできるだけ長くとることにより、ひび割れの発生を防止する。

(5) 脱型時にひび割れが発見された時には、その段階でただちに補修 (ひび割れ注入) することを決定し、それをマニュアル化する。

6. あとがき

能登有料道路は、道路の付け替え工事が 2007 年 11 月末に終了し、完全に復旧した。2007 年 12 月現在、ASR

により劣化した橋脚・基礎部の調査および補強設計も一段落し、橋梁の ASR 劣化対策工事および耐震補強工事が本格的に実施されている。筆者らにとって、これまで ASR による劣化は十分見慣れたつもりであったが、地中部にあるフーチングの ASR による劣化は想像以上に深刻かつ衝撃的なものであった。この際、ASR による深刻な劣化の多くが構造物の施工時の配慮不足や設計時の配筋ミスが引き金になっていたのも事実である。したがって、ASR 対策では、コンクリートの施工不良 (打継ぎ、温度ひび割れなど) や配筋の構造細目 (鉄筋の定着長さ、フックなど) にも細心の注意を払うことが重要であると考えている。言い換えれば、ASR 劣化では不良箇所 (相対的な弱点となる箇所) が選択的にやられるのが特徴であり、たとえ鉄筋破断が発生していなくても、そのような箇所では ASR 劣化が鉄筋破断と同様なまでに深刻なものになりうるのである。これまでの能登有料道路での ASR 対策の経験は、今後の構造物の設計や施工に活かす必要があり、ASR 劣化と設計、施工における不備との関係については改めて報告したいと考えている。

能登有料道路の震災復旧工事は、2008 年 3 月末までであり、これからの厳しい冬に掛けてが、工事の正念場となる。震災復旧工事の無事完成を祈っている。

謝 辞 能登有料道路の震災復旧工事では、石川県能登有料道路復旧工法検討委員会にて国土交通省国土技術政策総合研究所ならびに(独)土木研究所より有益なご助言をいただくとともに、石川県土木部、コンサルタンツ会社、建設会社、コンクリート会社、など多くの方々のご協力をいただいた。ここに感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) K. Torii, K. Okuyama, K. Kuzume, T. Sasatani : Monitoring and Strengthening Methods of Bridge Pier Seriously Damaged by Alkali-silica Reaction, Proc. of CONSEC'07, Vol.1, pp.787-794, 2007
- 2) 鳥居和之・樽井敏三・大代武志・平野貴宣 : 能登半島の ASR 劣化構造物に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vo.28-1, pp.779~784, 2006
- 3) 大代武志・平野貴宣・鳥居和之 : 富山県の反応性骨材と ASR 劣化構造物の特徴, コンクリート工学年次論文集, Vo.29-1, pp.1251~1256, 2007
- 4) 山戸博晃・南 善導・大代武志・鳥居和之 : 石川県産骨材のアルカリシリカ反応性の評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vo.29-1, pp.1257~1262, 2007
- 5) 野村昌弘・西谷直人・清水隆司・鳥居和之 : 実構造物における骨材からのアルカリ溶出の検証, コンクリート工学年次論文集, Vo.28-1, pp.791~796, 2006
- 6) 鳥居和之 : アルカリシリカ反応にいかに対応するか—試験, 診断と対策の課題—, セメント・コンクリート, No.696, pp.1~9, 2005.2
- 7) 土木学会コンクリート委員会 : アルカリ骨材反応対策小委員会報告書-鉄筋破断と新たな対応-, コンクリートライブラリー, No.124, 土木学会, 2005
- 8) 鳥居和之・野村昌弘 : コンクリートコアによる ASR 残存膨張性の評価, セメント・コンクリート, No.715, pp.64~70, 2006